

## Принципы использования лингвистических переменных для экспертной оценки мехатронных систем

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**Ключевые слова.** *Квалиметрия, весовой коэффициент, взвешенная сумма, качество, единственный показатель качества, экспертный метод, нечеткая переменная, лингвистическая переменная, термы, фазификация, центроидный метод.*

**Ключові слова:** *кваліметрія, ваговий коефіцієнт, зважена сума, якість, одиничний показник якості, експертний метод, нечітка змінний, лінгвістична змінна, терми, фазифікація, центроїдний метод*

**Key words:** *qualimetry, weight ratio, weighted sum, quality, simple quality index, expert method, fuzzy variable, linguistic variable, terms, dephasing, centroid method*

Постановка проблемы. Мехатронные системы состоят, как правило из механических, электронных и информационных систем, которые связаны друг с другом и представляют единое целое. К мехатронным системам относятся гибкие производственные системы, современные транспортные средства такие как легковые автомобили, самолеты. Например, легковой автомобиль Mercedes Benz СВ 220 является мехатронной системой, которая включает до 40 управляемых агрегатов. Современные самолеты оснащены средствами связи, навигации, радиолокационным оборудованием, например самолет Ан-74Т-200А содержит порядка 13 устройств радиоэлектронного и пилотажно-навигационного оборудования.

Современные легковые автомобили характеризуются большим количеством параметров. Оценка качества автомобилей можно выполнять методами квалиметрии, которые включают условные критерии. В их основу положен принцип относительного сравнения пары объектов, один из которого взят в качестве образцового.

Практика показывает, что автомобили успешно реализуются только тогда, когда учтены эстетические, экологические, экономические требования, требование гарантированного технического обслуживания и другие, которые изложены в технических условиях [2].

Оценка качества легковых автомобилей по величине «тран» [1] не получила распространения, так как в этом случае не учитываются такие требования как комфортность, эстетичность, которые можно оценить только экспертными методами.

Постановка задачи. Проанализировать лингвистические переменные, которые используются при оценке качества автомобилей, показать как использовать теорию нечетких множеств для оценки относительного показателя качества.

При экспертном способе оценки единичных показателей качества имеет место неопределённость, обусловленная отсутствием у свойств, определяющих рассматриваемый показатель качества, чётких границ.

Столкнувшись с нечёткостью, эксперт вынужден использовать лингвистические оценки типа «Автомобиль имеет достаточно высокое значение показателя качества», «Показатель безопасности почти удовлетворяет требованиям технических условий».

Для формирования субъективных оценок выражаемых с помощью естественного языка, применяются такие расплывчатые категории, как квалификаторы, модификаторы, квантификаторы, дескрипторы и прескрипторы. Квалификаторы характеризуют описательный, содержательный или функциональный признак оцениваемого объекта («важный», «большой» и т.д.) Модификаторы, которые могут быть локализуемыми («очень», «около») или сопоставляющими («менее важная», «более приемлемая») уточняют значения квантификатора. Квантификаторы описывают количество предметов или их повторяемость («несколько», «много», «часть» и т.д.) Дескрипторы и прескрипторы используются для соотнесения признаков с объектами оценки и между собой. Все эти категории составляют основу терм-множества и определяют численное значение функций принадлежности.

При оценке показателей качества автомобилей необходимо, во-первых, найти способ формализации лингвистических оценок показателей качества, и, во-вторых, учитывать значения единичных показателей в качественном виде вместе с единичными показателями, оцененными в количественном виде. Применение понятий некоторого множества и лингвистической переменной даёт возможность решить эти задачи.

Лингвистическая переменная «качество» служит для качественной (лингвистической) интерпретации базового значения рассматриваемого показателя в виде  $b_j [K(X_i)]$ ;  $j \in \overline{1,6}$ ,

$X_i$  – название  $i$ -го показателя качества;

$K$  – лингвистическое значение, выраженное первичным термом «качественно» для лингвистической переменной «качество»;

$b_j$  – модификатор для лингвистического значения  $K$ .

Можно предложить шесть модификаторов:  $b_1$  – «не»,  $b_2$  – «более или менее»,  $b_3$  – «почти»,  $b_4$  – «достаточно»,  $b_5$  – «очень»,  $b_6$  – «высоко».

Например, запись в  $b_4$  (показатель качество результата проектирования) означает, что автомобиль, который выбран как базовый для оценок по показателю качества результата проектирования, создан достаточно качественно.

Лингвистическая переменная «Величина». Она служит для сопоставления значения оцениваемого показателя с базовым. В её терм-множестве три первичных термина: «высокий», «средний», «низкий» ( $a_1, a_2, a_3$  соответственно) заданных на отрезке  $[0,1]$ .

Функция принадлежности нечётких множеств, соответствующих первичным терминам, представлена на рис.1-2.

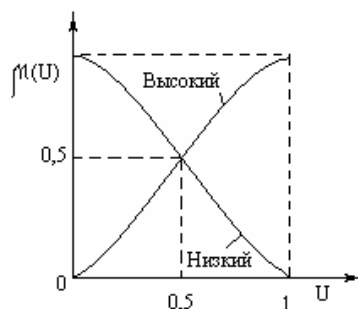


Рис.1. Графическое представление нечёткого множества, соответствующее термам «высокий», «низкий».

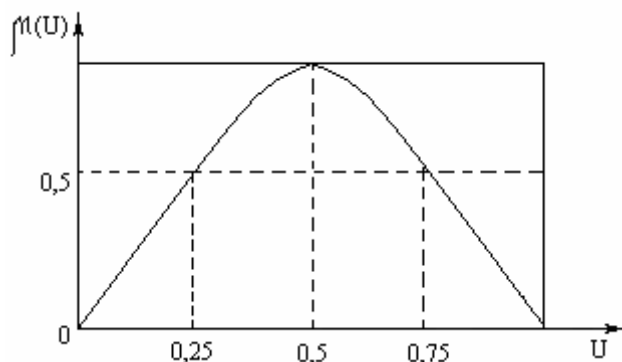


Рис.2. Графическое представление нечеткого множества, соответствующее терму «средний».

Аналитическое представление термов «высокий», «низкий» и «средний» имеют вид:

$$\mu < \text{высокий} > (U) = \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot U^2 \text{ для } 0 \leq U \leq 0,5 \\ 1 - 2(U - 1)^2 \text{ для } 0,5 \leq U \leq 1 \end{array} \right\} ; \quad (1)$$

$$\mu < \text{низкий} > (U) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - 2 \cdot U^2 \text{ для } 0 \leq U \leq 0,5 \\ 2(U - 1)^2 \text{ для } 0,5 \leq U \leq 1 \end{array} \right\} ; \quad (2)$$

$$\mu < \text{средний} > (U) = \left\{ \begin{array}{l} 8 \cdot U^2 \text{ для } 0 \leq U \leq 0,25 \\ 1 - 2(1 - 2U)^2 \text{ для } 0,25 \leq U \leq 0,5 \\ 1 - 2(2U - 1)^2 \text{ для } 0,5 \leq U \leq 0,75 \\ 8(1 - U)^2 \text{ для } 0,75 \leq U \leq 1 \end{array} \right\} \quad (3)$$

Предлагаемые выражения для функций принадлежности первичных термов могут быть уточнены по результатам экспериментов. На практике могут использоваться треугольные, в форме колокола и трапециидальные функции принадлежности.

Значения функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих первичным термам «высокий», «средний», «низкий» в соответствии с формулой с шагом дискретизации переменной «u», равным 0,1 представлены в табл. 1.

Значения функций принадлежности нечетких множеств

Таблица 1

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Высокий	0	0,02	0,08	0,18	0,38	0,5	0,68	0,82	0,92	0,98	1
Средний	0	0,08	0,32	0,68	0,92	1,0	0,92	0,68	0,32	0,08	0
Низкий	1	0,98	0,92	0,82	0,68	0,5	0,32	0,18	0,08	0,02	0

Для определения сравнительного значения переменной «u» оцениваемого и базового автомобиля введем продукционные правила, представленные в табл.2.

## Продукционные правила

Таблица 2

	Высокий	Средний	Низкий
Высокий	0,5	0,75	1
Средний	0,1	0,5	0,05
Низкий	0	0,05	0,5

На этапе оценки необходимо избавиться от нечёткости. Такая процедура называется дефазификацией. На практике часто используют центроидный метод (рис.3).

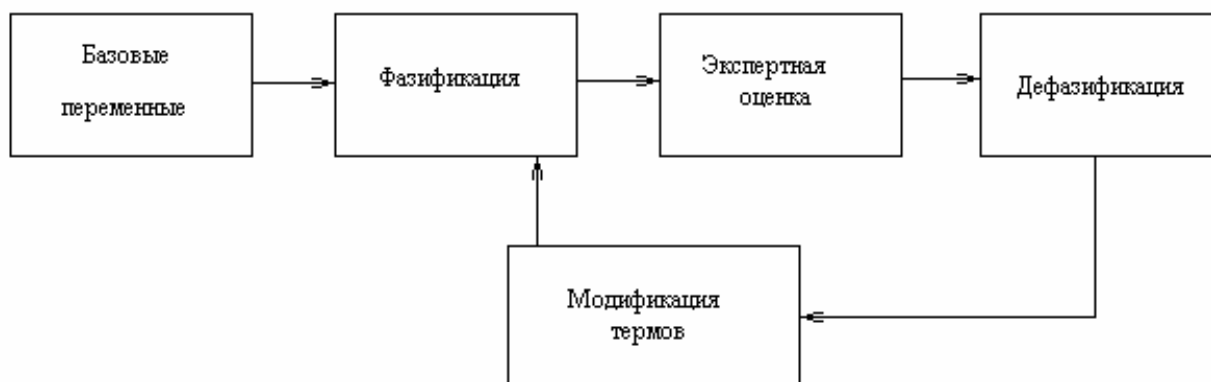


Рис. 3. Процесс преобразования нечётких множеств

Рассмотрим лингвистические показатели качества автомобиля такие как эстетические, эргономические и показатели безопасности, если оцениваемый автомобиль Opel Corsa а базовый автомобиль Subaru. Лингвистические оценки экспертов приведены в таблице 3

Лингвистические показатели качества автомобиля

Таблица 3

	Эстетические	Эргономические	Комфортность
Opel Corsa	Низкий	Средний	Высокий
Subaru	Средний	Средний	Средний
Коэффициент весомости	0,1	0,4	0,5

Для интерпретации результата вычисления комплексного показателя в виде числа из отрезка [0, 1] необходимо найти лингвистическое среднее результирующей функции принадлежности, то есть выполнить процедуру дефазификации.

$$C_p(x_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \quad (4)$$

где  $V_i$  - текущее значение базовой переменной,

$\mu_i$  - значение функции принадлежности  $V_i$ .

Для нашего случая в соответствии с продукционными правилами и формуле (6) «низкий» соответствует значению 0,125, а средний соответствует значению 0,3 для эстетических показателей, для эргономических показателей 0,3 и 0,3 и для показателей комфортности 0,625 и 0,3. Отношение показателей для эстетических

показателей равно 0,41 для эргономических показателей 1 и для показателей безопасности 2,08

Тогда по формуле определения комплексного показателя качества получаем (4):

$$K = \sum K_b q, \quad (5)$$

где  $K_b$  – коэффициент весомости;

$q$  – относительный показатель качества.

Для нашего случая имеем

$$K = 0,1 \cdot 0,41 + 0,4 \cdot 1 + 0,5 \cdot 2,08 = 1,441$$

Получили, что автомобиль Opel Corsa превосходит по лингвистическим переменным автомобиль Subaru на 44%.

Для более точной лингвистической оценки используются модификаторы  $b_1 \div b_6$ .

Терм-множество лингвистической переменной «Величина» образуется с помощью термов  $a_1, a_2, a_3$  и модификаторов  $b_1 \div b_6$  в виде  $b_k a_e; e \in \overline{1,3}, k \in \overline{1,6}$ .

Под значением единичного показателя качества понимают степень соответствия системы (подсистемы) базовому значению рассматриваемого показателя в виде

$$b_j[k(x_e)] = b_k \cdot a_e; e \in \overline{1,3}, k \in \overline{1,6}. \quad (6)$$

В частных случаях модификаторы в правой и левой частях могут отсутствовать. Эксперту разрешается пользоваться составными модификаторами (со связками «и» и «или»).

Эксперт оценивает показатель качества в следующей последовательности:

- 1) формирует базовое значение показателя качества приписыванием к рассматриваемому показателю подходящего с точки зрения эксперта, лингвистического значения из терм-множества лингвистической переменной «качество»;
- 2) оценивает для рассматриваемой системы (подсистемы) её соответствие базовому значению показателя качества с помощью подходящего лингвистического значения из терм-множества «Величина».

Например,  $b_2[k(x_e)] = b_3 \cdot a_i$  означает <более или менее> [<Качество> (<Показатель качества результата проектирования>)] = <почти> <высокий>.

Под модификацией понимают изменение формы графиков функции принадлежности, приведенных на рис.1-2. Один из способов такого изменения заключается в возведении значений функции принадлежности в степень, соответствующую конкретному модификатору. В табл.1 представлены рекомендуемые значения показателей степени для каждого из введенных модификаторов.

Связки «И» и «Или» в составных термах означают соответственно операции взятия  $\min$  и  $\max$  для значений функций принадлежности.

Процедуры преобразования базовой переменной в нечётную лингвистическую переменную, характеризуются функцией принадлежности, называется фазификацией. Каждому значению лингвистической переменной «Высокий», «Средний», «Низкий» соответствует свой диапазон базовой переменной.

Таблица 4. Рекомендуемые значения ПК для каждого модификатора

Название модификатора	Обозначение	Показатель степени
не	$b_1$	Модификатор « $k_b$ » означает арифметическую операцию $I - \mu \cdot a_e(V)$ для значения функции принадлежности $\mu \cdot a_e(V)$ .
Более или менее	$b_2$	0.5
Почти	$b_3$	0.75
Достаточно	$b_4$	1.25
Очень	$b_5$	2.0
Высоко	$b_6$	3.0

Комплексный показатель вычисляет последовательной композицией единичных показателей качества в комплексный по следующему правилу:

$$A[k(x)] = A_1[k(x_1)] \cdot \alpha_1 \cdot A_2[k(x_2)] \cdot \alpha_2 \dots \prod A_n[k(x_n)] \cdot \alpha_n, \quad (7)$$

где 
$$k = \sum_{i=1}^n k(x_i) \cdot \alpha_i,$$

$x_i$  –  $i$ -тый показатель качества;

$\alpha_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го показателя качества, причём  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;

$n$  – количество единичных показателей качества.

Таким образом в статье представлены принципы применения нечетких множеств для возможности формализации лингвистических оценок, которые дают эксперты не измеряемым традиционными способами единичным показателям качества таких как эстетические, эргономические, показатели безопасности и другие.

#### Список литературы

1. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств. – М.: Издательство стандартов, 1990./60 с.
2. ГОСТ 2.114-95. Технические условия
3. Сасник Д.А., Яковлев В.Т., Новейшие автомобильные электронные системы.- М.: Салон-Пресс, 2005.-240с.
4. Тимочков А.П., Алексеев С.В. Модуль принятия решений конфликтующими системами на основе теории нечётких множеств.- Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков, «ХАИ», 1999г. – Выпуск 3, стр.184 – 190.
5. Гребенников А.Г., Ключев В.Н., Повалий Ю.И. и др. Стандартная спецификация на тип самолета (вертолета). – Харьков: «ХАИ», 2004.-350 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. зав. каф. М.А. Подригало, Национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков.

Поступила в редакцию 16.03.09.